

1
НОМЕР

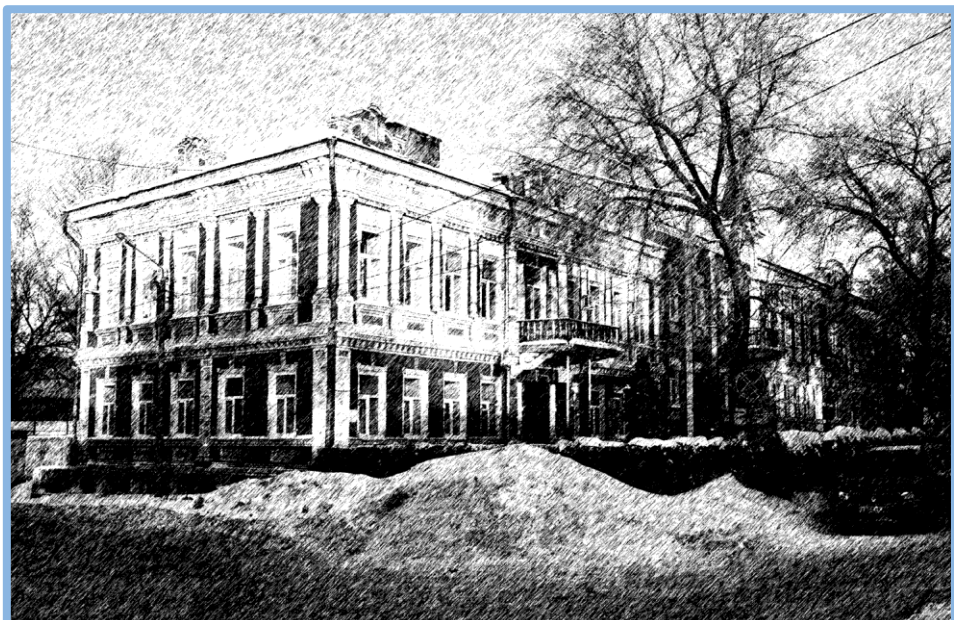
БОИЦ

ISSN 2304-9081

Электронный журнал
On-line версия журнала на сайте
<http://www.elmag.uran.ru>

БЮЛЛЕТЕНЬ

ОРЕНБУРГСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРО РАН



2016

УЧРЕДИТЕЛИ

УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН
ОРЕНБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР УРО РАН

© Коллектив авторов, 2016

УДК 004.896:681.5.05

А.Ю. Владова, Ю.Р. Владов, Е.М. Мозгунова

ПОСТРОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯМИ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Оренбургский научный центр УрО РАН (Отдел геоэкологии), Оренбург, Россия

Цель. Повышение эффективности управления состояниями природно-антропогенных и техногенных объектов за счет построения технологии интеллектуального управления на основе мультиграфовых моделей.

Материалы и методы. Природные, антропогенные и техногенные объекты и применение новых мультиграфовых моделей для управления и визуализации переходов сложных объектов в высокоэффективное состояние.

Результаты. Построены технология интеллектуального управления состояниями и мультиграфовые модели, содержащие конечное множество состояний сложных объектов; получены численные решения вероятностей состояний в виде полиномиальных разложений; результаты решений в символьном виде заложены в соответствующие базы знаний, зарегистрированные в Роспатенте; распределения вероятностей для разных мультиграфов сложных объектов демонстрируют доминирование конечных состояний.

Заключение. Технологии интеллектуального управления, основанные на мультиграфовых моделях, позволяют сформировать управленческие воздействия по переводу из конечного в более высокоэффективные состояния, реализация которых существенно повышает эффективность функционирования сложных объектов.

Ключевые слова: технологии интеллектуального управления, множество состояний, сложные объекты, мультиграфы, непараметрическая идентификация состояний, доминирующее состояние.

A.Y. Vladova, Y.R. Vladov, E.M. Mozgunova

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR INTELLIGENT MANAGEMENT OF LARGE-SCALE FACILITIES STATE

Orenburg Scientific Centre of UrB RAS (Department of Geoecology), Orenburg, Russia

Objective. Improving the efficiency of state management of natural-anthropogenic and technogenic objects due to intelligent control technology building on the base of multigraph models.

Materials and methods. Natural, anthropogenic and technogenic objects and new multigraph models use for visualization of transitions from state to state for complex objects.

Results. The multigraph models were built that contain finite set of states for complex objects; the numerical solutions for probabilities of states were received in the form of polynomial expansions; the results of the solutions in symbolic form are put in the corresponding knowledge bases registered in Rospatent; distributions of probabilities for different multigraphes of complex objects are shown domination of final states.

Conclusion. Technologies of intellectual management based on multigraph models allow to create administrative influences on the transfer from final to higher states, which realization significantly raises efficiency of functioning complex objects.

Keywords: the technologies of intelligent management, set of conditions, complex objects, multigraphs, nonparametric identification of conditions, a dominating condition.

Введение

Под природными объектами авторы понимают совокупность природных компонентов (рельеф, почвы, недра, подземные воды и т.п.), явлений и свойств, образующих единое целое, проблема эффективности использования которых состоит в ухудшении экологических свойств и отсутствии возможности управления их состоянием. Под техногенными понимаем объекты с высокой удельной концентрацией энергии (трубопроводы, паропроводы, теплоэнергетические котлы и др.), предполагающей использование металлических оболочек, состояние которых зависит от множества повреждений. Природно-техногенные и техногенно-природные объекты, это объекты, для управления состоянием которых требуется учитывать комплекс факторов как природного, так и техногенного характера, причем переднее или заднее расположение в названии объектов определяется степенью влияния соответствующих факторов на их состояние. Необходимо отметить, что все перечисленные типы объектов относятся к классу сложных систем.

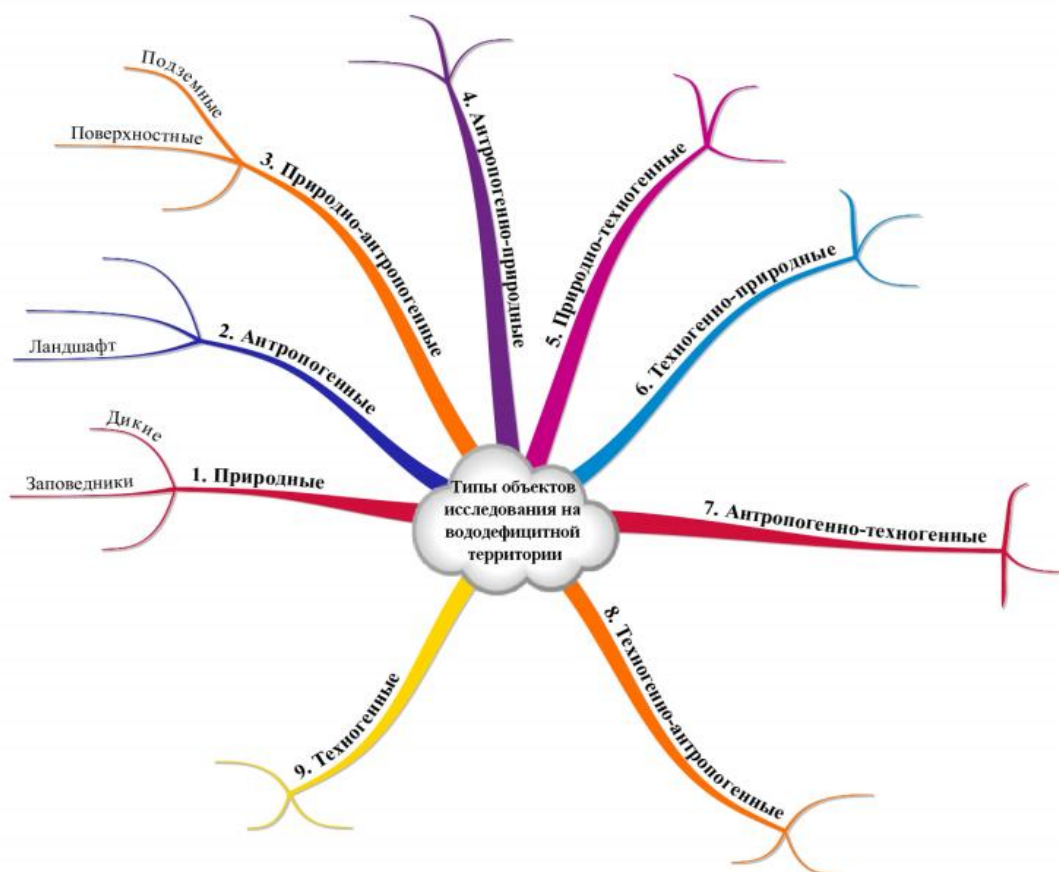


Рис.1. Интеллограмма типов объектов на вододефицитной территории.

Проблема ресурсного функционирования сложных объектов (СО) приобретает в стране все более острое значение, поскольку многие из них отра-

ботали расчетный ресурс. При постоянно увеличивающейся нагрузке появляются новые и усугубляются прежние многочисленные повреждения, что ведет к снижению надежности и эффективности их функционирования.

В теории управления используют графы как модели, визуализирующие переходы сложных объектов из состояния в состояние при поступающих потоках случайных событий. При этом предполагается, что эти потоки статистически независимы, а сложный объект может находиться только в состоянии работоспособности или отказа [1]. Для принципиально нового решения задачи интеллектуального управления состояниями СО разработан новый класс графов, названный мультиграфами, отличающийся от известных тем, что графы имеют аналоговый характер и представление состояний осуществляется за счет интервальных значений выбранного оптимального параметра по критерию минимума среднего риска.

Структурные основы технологий интеллектуального управления состояниями.

В соответствии с предложенным подходом решение задачи интеллектуального управления декомпозировано на три уровня: структурный, аналитический и управленческий (рис. 2).

На первом уровне решена проблема выявления множества состояний СО. На втором уровне реализовано управление переходами СО из состояния в состояние. Исходные данные предоставляет база характеристик крупномасштабных объектов, определяемых по результатам разновременных инструментальных измерений. Значения параметров характеристик представлены потоками случайных событий, для которых осуществлены операции проверки на стационарность, ординарность и отсутствие последствия.

Например, для технологического газотранспортного объекта потоки случайных событий сформированы по остаточным толщинам стенок металлических оболочек в местах повреждений, расстояний между повреждениями, площадями и объемами повреждений и др. Для природного объекта в виде бассейна реки, расположенного на вододефицитной территории, использованы следующие параметры: уровень грунтовых вод, дебит и удельный дебит водонаблюдательных скважин, химический состав и др. Для другого природно-техногенного объекта в виде недр с разрабатываемыми месторож-

дениями углеводородов определена геодинамическая активность¹.



Рис. 2. Укрупненная схема построения технологии интеллектуального управления состояниями сложных объектов.

¹ Патент РФ на изобретение № 2575469 «Способ определения геодинамической активности недр разрабатываемого месторождения углеводородов». 2016.

После разбиения значений по выбранному с использованием критерия среднего риска параметру на интервалы и определения количества состояний моделей и интенсивностей потоков повреждений строят ориентированный размеченный мультиграф. На следующем иерархическом уровне исследование динамических и стационарных режимов модели проводят с помощью систем дифференциальных и алгебраических уравнений. В соответствии с полученными значениями стационарных вероятностей состояния мультиграфа упорядочивают по вероятностной шкале, что позволяет сформировать оптимальное управленческое решение.

Построение ориентированного размеченного мультиграфа.

Построение мультиграфа состояний сложного объекта предполагает определение интервальных значений по выбранному параметру, характеризующему, например, геометрические характеристики повреждений (рис. 3а).

Так, для одного из технологических трубопроводов Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения, выполненного из стали 20, с диаметром 377 мм и длиной 114 км, построена гистограмма распределения интервалов по параметру остаточная толщина стенки оболочки. Получены 4 интервала с диапазонами: S_0 [20,58; 21,44] мм, S_1 [19,72; 20,58) мм, S_2 [18,86; 19,72) мм, S_3 [18,0; 18,86) мм. На рис. 3б по оси абсцисс приведены значения середин интервалов, а по оси ординат частоты.

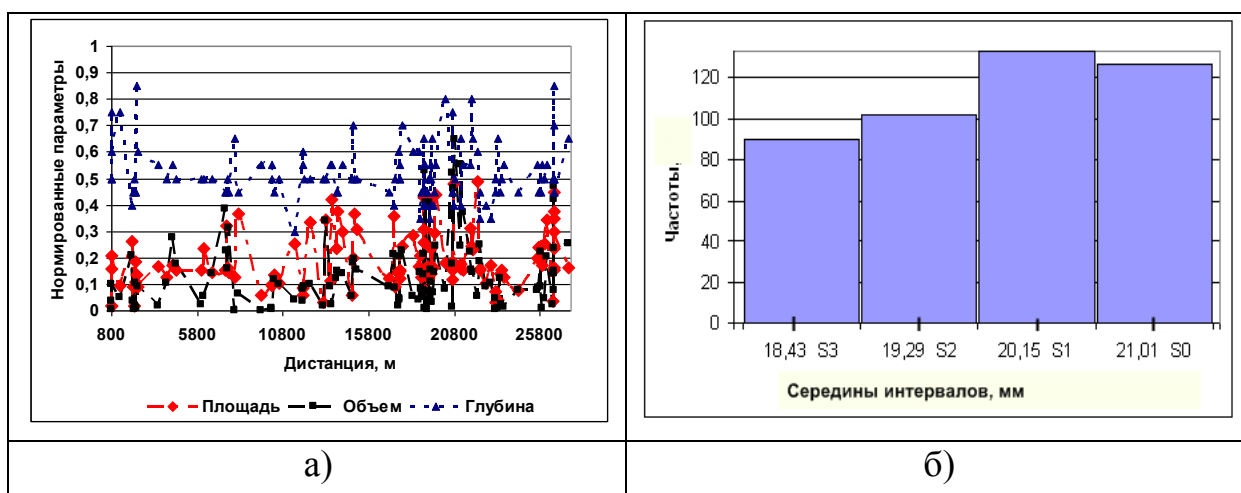


Рис. 3. Отображение интервальных значений по параметрам повреждений на состояния: а) - распределение повреждений по дистанции; б) - гистограмма интервального распределения остаточных толщин стенок.

Каждому интервалу и частоте поставлены в соответствие основные состояния S_i . Крайнему правому интервалу поставлено в соответствие исходное состояние объекта на момент диагностирования S_0 , а следующим в порядке уменьшения значений границ интервалов - основные состояния объекта S_1, \dots, S_3 . По предложенному отображению построен ориентированный мультиграф с четырьмя иерархически расположенными основными состояниями S_0, S_1, S_2, S_3 (рис. 4).

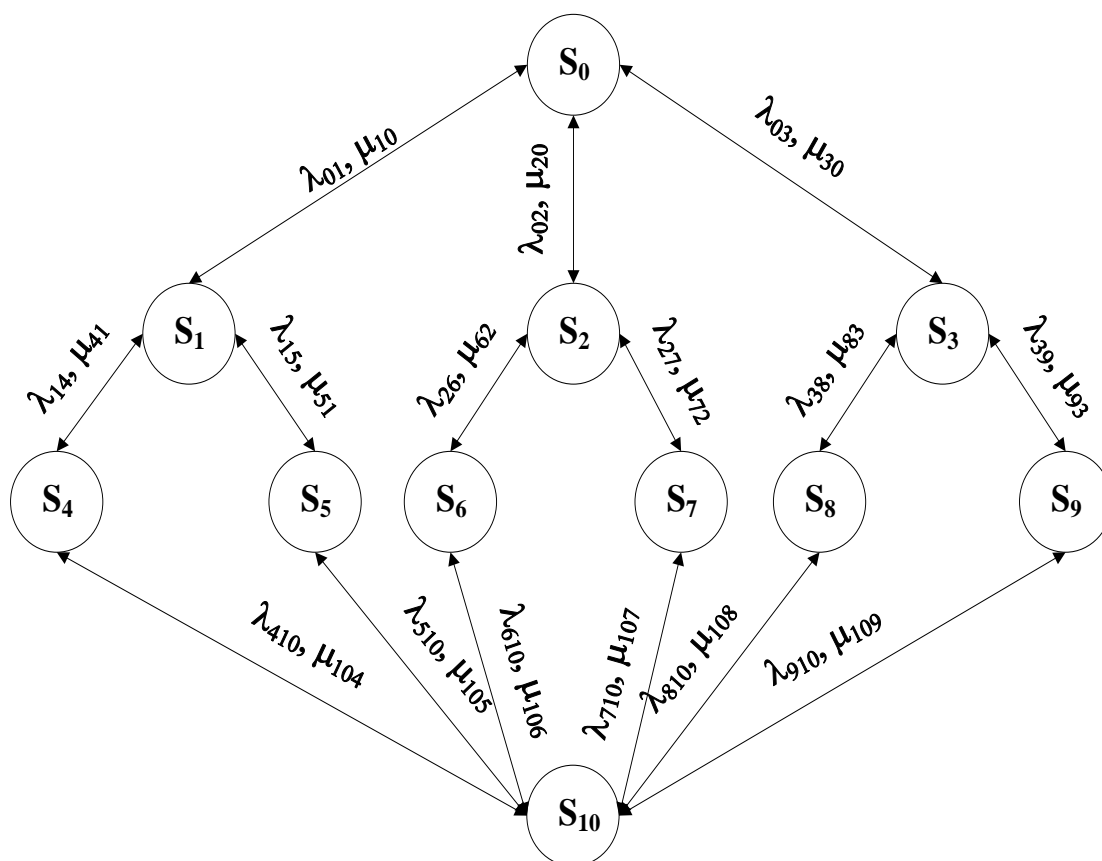


Рис. 4. Мультиграф газотранспортного объекта с четырьмя основными состояниями.

Множество основных состояний дополнено композиционными S_4, \dots, S_{10} , полученными действием разных последовательностей потоков повреждений с интенсивностями $\lambda_{01}, \lambda_{02}, \lambda_{03}$. При построении мультиграфа пары состояний соединены между собой разнонаправленными дугами, помеченными интенсивностями потоков повреждений λ_{ij} и μ_{ji} , со стрелками, направленными в сторону конечного и исходного состояний соответственно, где $i, j = 0, \dots, 10$ – номера состояний. Для упрощения рисунка дуги альтернативных потоков повреждений совмещены. По мультиграфу, в соответствии с определенными правилами [1], составлена система обыкновенных дифференциальных уравнений (1):

$$(1) \left\{ \begin{aligned} \frac{dp_0(t)}{dt} &= p_1(t)\mu_{10} + p_2(t)\mu_{20} + p_3(t)\mu_{30} - p_0(t)(\lambda_{01} + \lambda_{02} + \lambda_{03}); \\ \frac{dp_1(t)}{dt} &= p_0(t)\lambda_{01} + p_4(t)\mu_{41} + p_5(t)\mu_{51} - p_1(t)(\mu_{10} + \lambda_{14} + \lambda_{15}); \\ &\dots \\ \frac{dp_9(t)}{dt} &= p_3(t)\lambda_{39} + p_{10}(t)\mu_{109} - p_9(t)(\mu_{93} + \lambda_{910}); \\ \frac{dp_{10}(t)}{dt} &= p_4(t)\lambda_{410} + p_5(t)\lambda_{510} + p_6(t)\lambda_{610} + p_7(t)\lambda_{710} + \\ &+ p_8(t)\lambda_{810} + p_9(t)\lambda_{910} - p_{10}(t)(\mu_{104} + \mu_{105} + \mu_{106} + \mu_{107} + \mu_{108} + \mu_{109}). \end{aligned} \right.$$

В системе (1) использованы обозначения вероятностей $p_0(t), \dots, p_{10}(t)$ с индексами $0..10$, соответствующими номеру состояния.

Исследование динамического режима.

Аналитическое решение системы (1), полученное методом разложения в степенной ряд со старшей степенью, определяемой допустимой погрешностью [2], выглядит следующим образом (2):

$$(2) \left\{ \begin{aligned} p_0(t) &= p_0(0) + (p_1(0)\mu_{10} + p_2(0)\mu_{20} + p_3(0)\mu_{30} - p_0(0)(\lambda_{01} + \lambda_{02} + \lambda_{03}))t + \\ &+ h_{02}t^2 + h_{03}t^3 + \dots + h_{0l}t^l; \\ &\dots \\ p_{10}(t) &= p_{10}(0) + (p_4(0)\lambda_{410} + p_5(0)\lambda_{510} + p_6(0)\lambda_{610} + p_7(0)\lambda_{710} + p_8(0)\lambda_{810} + p_9(0)\lambda_{910} - \\ &- p_{10}(0)(\mu_{104} + \mu_{105} + \mu_{106} + \mu_{107} + \mu_{108} + \mu_{109}))t + h_{102}t^2 + h_{103}t^3 + \dots + h_{10l}t^l. \end{aligned} \right.$$

где h_{ij} – коэффициенты полиномов, выраженные через интенсивности потоков повреждений и начальные условия $\{p_0(0), \dots, p_m(0)\}$;

l - старшая степень разложения в ряд.

Для нахождения численного решения необходимо вычислить интенсивности потоков повреждений мультиграфа. Согласно разработанной методике их значения находятся в зависимости от количества случайных событий в состояниях и наработки сложного объекта в момент диагностики [3].

Найденные интенсивности потоков повреждений для данного технологического трубопровода лежат в диапазонах: $\lambda \in [0,00614; 0,03389]$ год⁻¹, $\mu \in [0,00514; 0,01822]$ год⁻¹.

Функции вероятностей состояний мультиграфа $\{p_0(t), p_1(t), \dots, p_{10}(t)\}$, рассчитанные по (2) с равновероятными начальными условиями имеют вид (3):

$$(4) \left\{ \begin{array}{l} p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7 + p_8 + p_9 + p_{10} = 1; \\ p_1 \mu_{10} + p_2 \mu_{20} + p_3 \mu_{30} - p_0 (\lambda_{01} + \lambda_{02} + \lambda_{03}) = 0; \\ p_0 \lambda_{01} + p_4 \mu_{41} + p_5 \mu_{51} - p_1 (\mu_{10} + \lambda_{14} + \lambda_{15}) = 0; \\ \dots \\ p_3 \lambda_{39} + p_{10} \mu_{109} - p_9 (\mu_{93} + \lambda_{910}) = 0; \\ p_4 \lambda_{410} + p_5 \lambda_{510} + p_6 \lambda_{610} + p_7 \lambda_{710} + \\ + p_8 \lambda_{810} + p_9 \lambda_{910} - p_{10} (\mu_{104} + \mu_{105} + \mu_{106} + \mu_{107} + \mu_{108} + \mu_{109}). \end{array} \right.$$

где $p_0 \dots p_{10}$ – финитные вероятности состояний сложных объектов.

Так как СЛАУ однородна, то можно определить неизвестные вероятности состояний с точностью до произвольного множителя. Поэтому вместо любого уравнения системы необходимо использовать нормировочное условие равенства суммы всех вероятностей единице и с его помощью замкнуть систему.

Значения финитных вероятностей исследуемого сложного объекта, полученные с помощью решения (4) с подстановкой соответствующих интенсивностей потоков случайных событий принадлежат интервалу [6,98E-06; 0,91]. Так как финитные вероятности состояний характеризуют время нахождения модели в том или ином состоянии, в стационарном режиме модель 91 % времени будет находиться в неблагоприятном конечном состоянии S_{10} . Учитывая найденное решение, построен мультиграф с состояниями, упорядоченными по значениям финитных вероятностей (рис. 6).

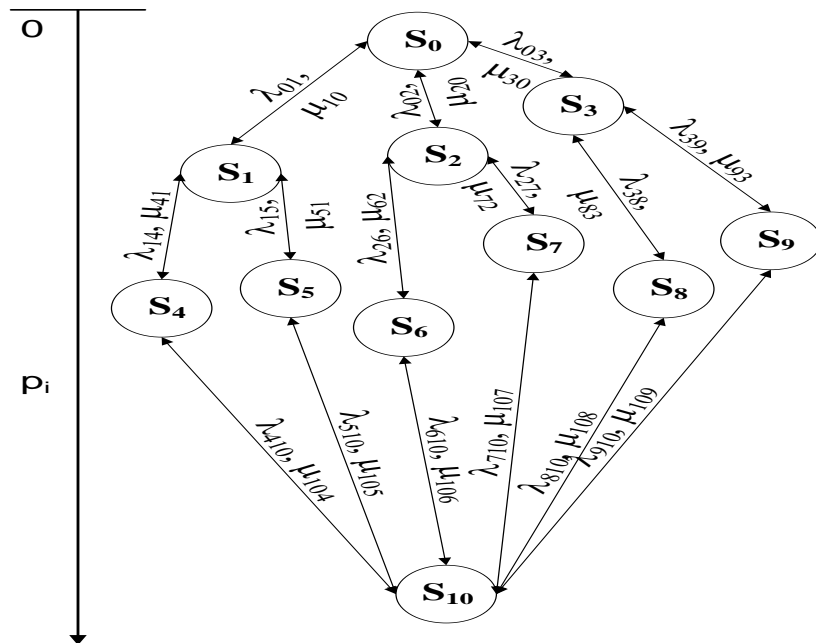


Рис. 6. Мультиграф с упорядоченными вероятностями состояниями.

С возрастанием доли восстановленных состояний повышаются вероятности основных состояний мультиграфа $p_0(t), \dots, p_3(t)$ за счет вероятностей композиционных состояний $p_4(t), \dots, p_{10}(t)$.

Статистика обработки длительно эксплуатирующихся СО показывает, что можно ограничиваться конечным множеством вероятностей состояний, причем наиболее часто встречаются три, четыре и пять существенных интервалов по выбранному с помощью критерия минимума среднего риска оптимальному параметру, характеризующему потоки случайных событий как техногенного, так и природного характера.

Выводы

Мультиграфовые модели построены на основе теории марковских случайных процессов и содержат конечное множество состояний, отображающих интервалы потоков случайных событий. Технологии интеллектуального управления состояниями СО, построенные на непараметрической идентификации с использованием мультиграфовых моделей успешно апробированы на эксплуатирующихся около четырех десятков лет сложных объектах Оренбургского региона.

Получены численные решения вероятностей состояний в виде полиномиальных разложений, зависящие только от интенсивностей потоков случайных событий. Результаты решений в символьном виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений и систем линейных алгебраических уравнений при различном количестве интервалов заложены в соответствующие базы знаний, зарегистрированные в Роспатенте в виде свидетельств на программные продукты. Распределения вероятностей для разных мультиграфов СО демонстрируют доминирование конечных состояний.

Область применения технологий интеллектуального управления – объекты топливно-энергетического комплекса страны на этапе длительной эксплуатации с учетом факторов окружающей среды. Независимо от выбранного оптимального параметра и вида мультиграфовых моделей, технологии интеллектуального управления позволяют выявить основные и композиционные состояния, доминирование конечного состояния над остальными и, самое главное, сформировать оптимальные по ресурсным затратам управленческие воздействия по переводу из конечного в более высокоэффективные состояния, реализация которых существенно повышает эффективность функционирования сложных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1988. 480с.
2. Владова А.Ю., Владов Ю.Р. Проектирование базы данных системы интеллектуального управления состоянием техногенных объектов. Вестник компьютерных и информационных технологий. 2013. 11: 27-34.
3. Владова А.Ю., Владов Ю.Р. Исследование вероятностей коррозионных состояний продуктопроводов моделированием на графах. Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. М.: ВНИИОЭНГ. 2008. 5: 49 52.
4. Владов Ю.Р., Владова А.Ю. Построение и моделирование систем интеллектуального управления состоянием техногенных объектов: монография. Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. 243 с.

Поступила 16.03.2016

(Контактная информация: Владов Юрий Рафаилович – д.т.н., профессор, заведующий лабораторией технологии управления природопользованием Отдела геоэкологии ОНЦ УрО РАН; адрес: 460014, г. Оренбург, ул. Набережная, 29; тел. 8 (3532) 77-56-70, факс 8 (3532) 77-06-60; e-mail: geocol-onc@mail.ru).

LITERATURA

1. Ventcel' E.S., Ovcharov L.A. Teoriya veroyatnostej i ee inzhenernye prilozheniya. M.: Nauka, 1988. 480s.
2. Vladova A.YU., Vladov YU.R. Proektirovanie bazy dannyh sistemy intellektual'nogo upravleniya sostoyaniem tekhnogennyh ob"ektov. Vestnik komp'yuternyh i informacionnyh tekhnologij. 2013. 11: 27-34.
3. Vladova A.YU., Vladov YU.R. Issledovanie veroyatnostej korroziionnyh sostoyanij produktoprovodov modelirovaniem na grafah. Avtomatizaciya, telemekhanizaciya i svyaz' v neftyanoj promyshlennosti. M.: VNIIOENHG. 2008. 5: 49 52.
4. Vladov YU.R., Vladova A.YU. Postroenie i modelirovanie sistem intellektual'nogo upravleniya sostoyaniem tekhnogennyh ob"ektov: monografiya. Orenburg: ООО IPK «Universitet», 2013. 243 s.

Образец ссылки на статью:

Владова А.Ю., Владов Ю.Р., Мозгунова Е.М. Построение технологии интеллектуального управления состояниями природно-антропогенных и техногенных объектов. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2016. 1: 1-11 [Электронный ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2016-1/Articles/VAY-2016-1.pdf>).